

# **Лекция 7**

## **Вычислительные системы**

**Ефимов Александр Владимирович**  
**E-mail: [alexandr.v.efimov@sibguti.ru](mailto:alexandr.v.efimov@sibguti.ru)**

**Курс «Архитектура вычислительных систем»**  
**СибГУТИ, 2020**

# Понятие архитектуры

*Архитектура ЭВМ* – совокупность свойств и характеристик ЭВМ, призванных удовлетворить потребности пользователей



*Архитектура вычислительного средства* – это совокупность его свойств и характеристик



*Архитектура вычислительного средства* – это концепция взаимосвязи и функционирования его аппаратурных (Hardware) и программных (Software) компонентов

# Модель коллектива вычислителей

*Архитектура ВС основывается на структурной и функциональной имитации коллектива людей-вычислителей*

$$S = \langle H, A \rangle$$

$H$  – конструкция

$A$  – алгоритм работы коллектива вычислителей.

$$H = \langle C, G \rangle$$

$C = \{c_i\}$  – множество вычислителей  $c_i$ ,  $i = \overline{0, N-1}$

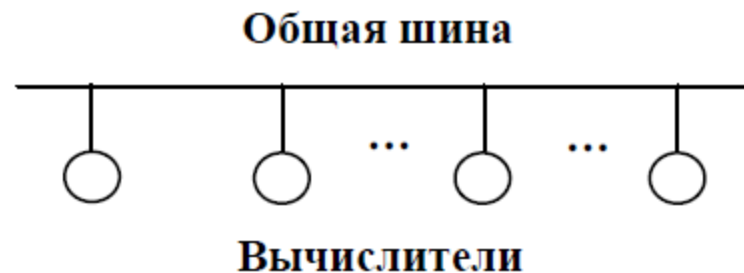
$N$  – мощность множества  $C$

$G$  – описание макроструктуры коллектива вычислителей, т.е. структуры сети связей между вычислителями  $c_i \in C$  (или структура коллектива)

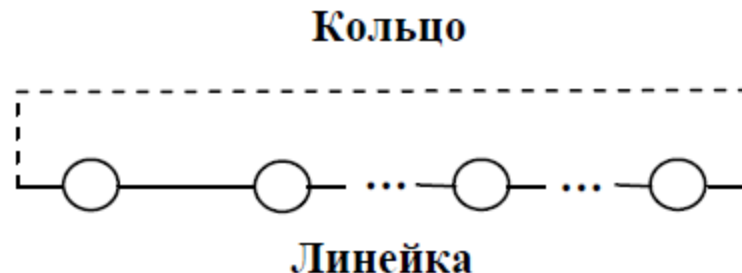
# Структура ВС

(Макро)структура коллектива вычислителей представляется *графом  $G$* , вершинам (узлам) которого сопоставлены вычислители  $c_i \in C$ , а ребрам – линии связи между ними

## ➤ Нульмерные структуры

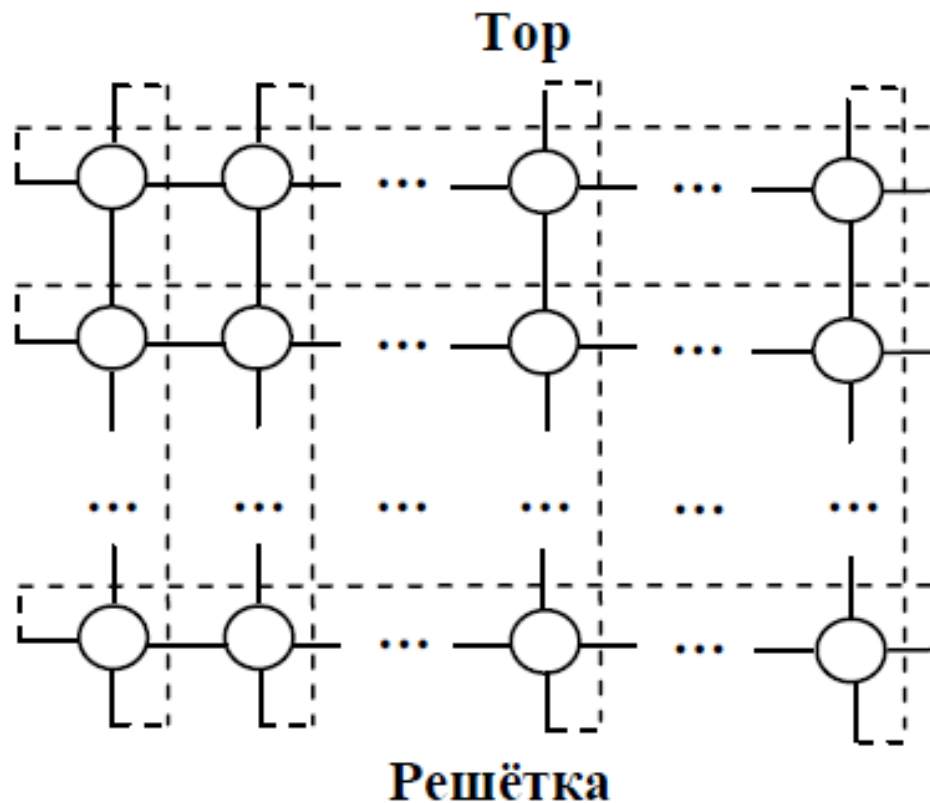


## ➤ Одномерные структуры



# Структура ВС

## ➤ Двумерные структуры



**Увеличение размерности структуры  
повышает структурную надёжность ВС**

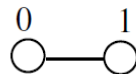
# Структура ВС

➤ Гиперкубы (структуры в виде булевых  $n$ -мерных кубов)

$$n = \log_2 N$$

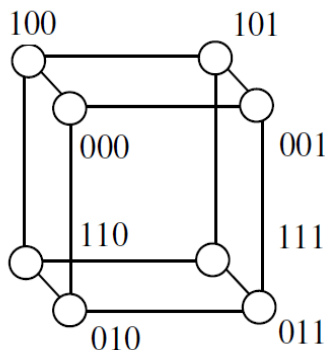
$N$  — количество вершин  
 $n$  — число ребер,  
выходящих из вершины  
(размерность)

Максимальное расстояние  
(число ребер) между двумя  
вершинами совпадает с  
размерностью гиперкуба



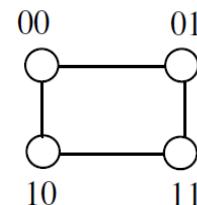
$N = 2, n = 1$

1D – куб



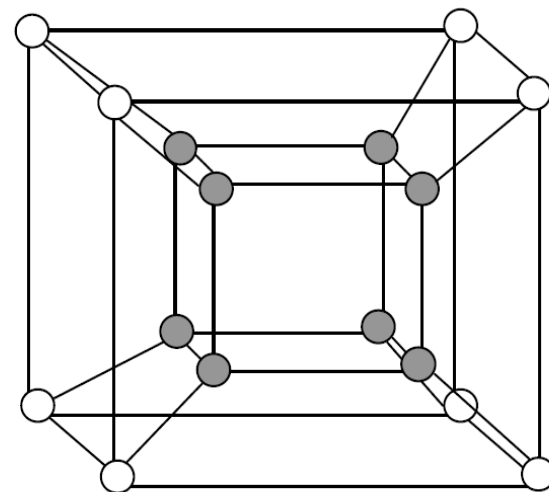
$N = 8, n = 3$

3D – куб



$N = 4, n = 2$

2D – куб



$N = 16, n = 4$ , 4D – куб

# Архитектурные принципы коллектива вычислителей

- *Параллелизм при обработке информации* - параллельное выполнение операций на множестве  $S$  вычислителей, взаимодействующих через связи структуры  $G$ ;
- *Программируемость структуры* - настраиваемость структуры  $G$  сети связей между вычислителями, достигаемая программными средствами;
- *Однородность конструкции  $H$*  - однородность вычислителей  $s_i \in S$  и структуры  $G$ .

# Понятие о ВС

*Вычислительная система* – средство обработки информации, базирующееся на модели коллектива вычислителей

*Вычислительная система* – совокупность взаимосвязанных и одновременно функционирующих аппаратурно-программных вычислителей, которая способна не только реализовать (параллельный) процесс решения сложной задачи, но и априори и в процессе работы автоматически настраиваться и перестраиваться с целью достижения адекватности между своей структурно-функциональной организацией и структурой и характеристиками решаемой задачи.



# Классы архитектур ВС

Классификация архитектур средств обработки информации была предложена профессором Стенфордского университета США М. Дж. Флинном в 1966 г.

**SISD** (Single Instruction stream / Single Data stream) или  
ОКОД (Одиночный поток Команд и Одиночный поток Данных)

**ЭВМ**

**SIMD** (Single Instruction stream / Multiple Data stream) или  
ОКМД (Одиночный поток Команд и Множественный поток Данных)

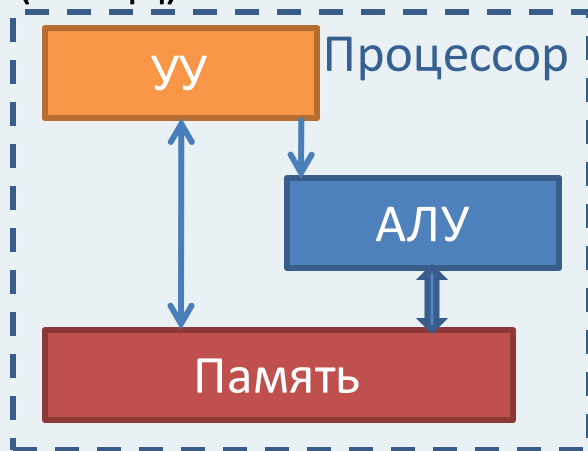
**MISD** (Multiple Instruction stream / Single Data stream) или  
МКОД (Множественный поток Команд и Одиночный поток Данных)

**MIMD** (Multiple Instruction stream / Multiple Data stream) или  
МКМД (Множественный поток Команд и Множественный поток Данных)

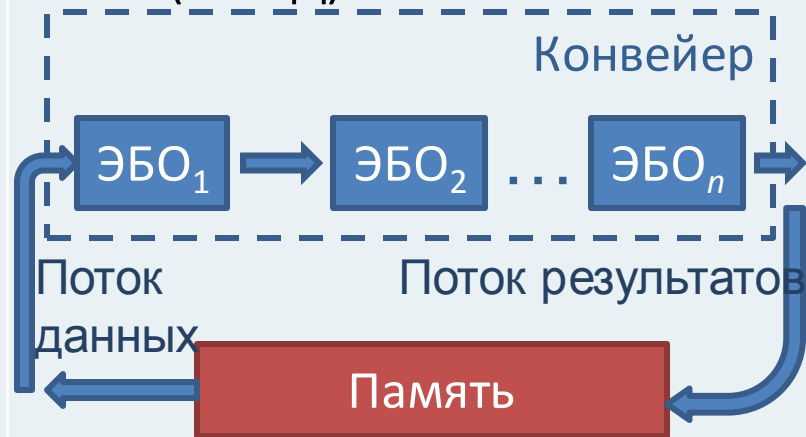
**ВС**

# Классы архитектур ВС

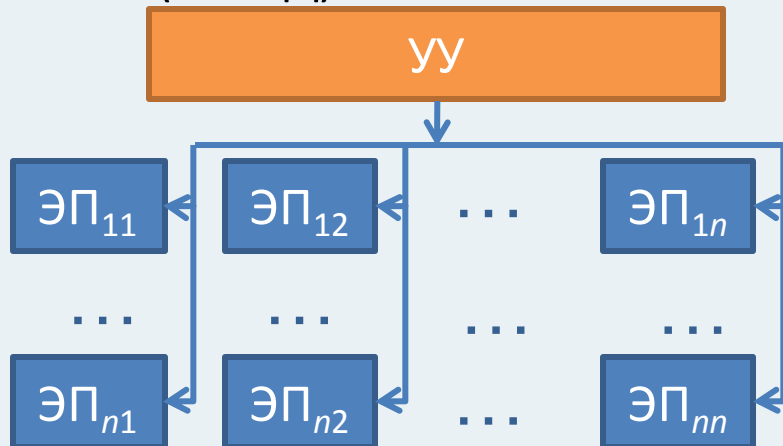
SISD (ОКОД)



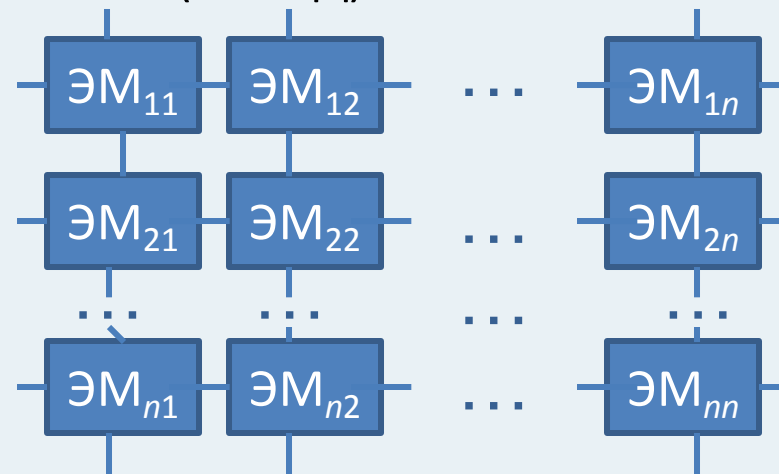
MISD (МКОД)



SIMD (ОКМД)



MIMD (МКМД)



# Конвейерные ВС (MISD)

*Конвейерные ВС* – системы, архитектура которых является предельным вариантом эволюционного развития последовательной ЭВМ и простейшей версией модели коллектива вычислителей

- Конвейерный способ обработки информации
- Функциональная структура представляется в виде «последовательности» связанных элементарных блоков обработки (ЭБО) информации
- Все блоки работают параллельно, но каждый из них реализует лишь свою операцию над данными одного и того же потока

# Матричные ВС (SIMD)

*Матричные ВС* основываются на принципе массового параллелизма, в них обеспечивается возможность одновременной реализации большого числа операций на элементарных процессорах (ЭП), «объединенных» в матрицу

- ЭП – композиция из арифметико-логического устройства (АЛУ) и локальной памяти (ЛП)
- Поток команд на матрицу ЭП формируется устройством управления
- SIMD-архитектура в классическом виде

# Мультипроцессорные ВС (MIMD с общей памятью)

Обширная группа систем, в которую, в частности, могут быть включены конвейерные и матричные ВС (а также многомашинные ВС)

Обычно к мультипроцессорным ВС относят системы с MIMD-архитектурой, которые состоят из множества (не связанных друг с другом) процессоров и *общей* памяти; взаимодействие между процессорами и памятью осуществляется через коммутатор (общую шину и т.п.), а между процессорами – через память

# Распределённые ВС (MIMD)

Мультипроцессорные ВС с MIMD-архитектурой, в которых *нет* единого ресурса (общей памяти)

- Принципы модульности и близкодействия
- Пример промышленной реализации распределённых ВС – *транспьютерные ВС* – композиция из одинаковых взаимосвязанных микропроцессорных кристаллов, называемых *транспьютерами*

# ВС с программируемой структурой (MIMD)

Полностью основываются на модели коллектива вычислителей и являются композицией взаимосвязанных элементарных машин

- Состав ЭМ: локальный коммутатор (ЛК), процессор, память
- Ориентированы на распределенную обработку информации; эффективны и при конвейерной, и при матричной обработке
- Рассчитаны на работу во всех основных режимах: решения сложной задачи, обработки наборов задач, обслуживания потоков задач, реализации функций вычислительной сети
- Концепция вычислительных систем с программируемой структурой была сформулирована в Сибирском отделении АН СССР, первая система («Минск-222») была построена в 1965 – 1966 гг.

# Кластерные ВС

- Термин вычислительный кластер (cluster) был впервые введен компанией DEC (Digital Equipment Corporation):

*Кластер* – это группа компьютеров, которые связаны между собой и функционируют как единое средство обработки информации

- *Кластерная ВС* или кластер – это композиция множества вычислителей, сети связей между ними и программного обеспечения, предназначенная для параллельной обработки информации



# Вычислительные сети

**BOINC** (англ. Berkeley Open Infrastructure for Network Computing) — открытая программная платформа (университета Беркли для GRID вычислений) — некоммерческое межплатформенное ПО для организации распределённых вычислений.

Суммарная производительность > 100 Pflops

Примеры популярных проектов:

- SETI@home — анализ радиосигналов с радиотелескопа Аресибо, а также ряда других радиотелескопов мира, для поиска внеземных цивилизаций.
- World Community Grid — помощь в поиске лекарств для лечения человеческих заболеваний, таких как рак, ВИЧ/СПИД, расчёт структуры белков и другие проекты.

# Принципы построения ВС

- **Модульность** – принцип, предопределяющий формирование вычислительной системы из унифицированных элементов (называемых модулями), которые функционально и конструктивно закончены, имеют средства сопряжения с другими элементами и разнообразие которых составляет полный набор.

## Обеспечивает:

- возможность использования любого модуля заданного типа для выполнения любого соответствующего ему задания пользователя;
- простоту замены одного модуля на другой однотипный;
- масштабируемость, т.е. возможность увеличения или уменьшения количества модулей без коренной реконфигурации связей между остальными модулями;
- открытость системы для модернизации, исключаящую ее моральное старение.

# Принципы построения ВС

- **Близкодействие** – принцип построения ВС, обуславливающий такую организацию информационных взаимодействий между модулями-вычислителями, при которой каждый из них может непосредственно (без «посредников») обмениваться информацией с весьма ограниченной частью модулей-вычислителей.
- *Локальность связей и взаимодействий между вычислителями* – состояние  $E_i(t+1)$  вычислителя  $c_i$ ,  $i \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ , на очередном временном шаге  $t+1$  зависит от состояний (на предшествующем шаге  $t$ ) непосредственно с ним связанных вычислителей  $c_j \in C^*$ ,  $C^* \subset C$ :

$$E_i(t+1) = f(E_i(t), E_{i_1}(t), E_{i_2}(t), \dots, E_{i_M}(t));$$

- *Асинхронность функционирования ВС* обеспечивается, если порядок срабатывания ее модулей определяется не с помощью вырабатываемых тем или иным образом отметок времени, а достижением заданных значений определенных (как правило, логических) функций.

# Принципы построения ВС

- *Децентрализованность управления ВС* достигается, если в системе нет выделенного модуля, который функционирует как единый для всей системы центр управления.

## Позволяет:

- достичь живучести ВС, т. е. ее способности продолжать работу при отказах модулей (в том числе и тех, которые предназначены для принятия решений);
- избежать очередей при обслуживании «заявок» на управление.

- *Распределённость ресурсов ВС*

*Распределённая ВС* – система, в которой нет единого ресурса, используемого другими в режиме разделения времени.

# Свойства ВС

- *Масштабируемость (Scalability)*

способность к наращиванию и сокращению ресурсов, возможность варьирования производительности.

- *Универсальность. Алгоритмическая и структурная.*

- *Реконфигурируемость (Programmability)*

*Статическая реконфигурация* - адаптация системы под область применения на этапе её формирования.

*Динамическая реконфигурация* - возможность образования в системах таких подсистем, структуры и функциональные организации которых адекватны входной мультипрограммной ситуации и структурам решаемых задач.

# Свойства ВС

- *Надёжность (Reliability)*

способность к автоматической (программной) настройке и организации функционирования таких структурных схем, которые при отказах и восстановлении вычислителей обеспечивают заданный уровень производительности.

- *Живучесть (Robustness)*

программной настройки и организации функционирования таких структурных схем, которые в условиях отказов и восстановления вычислителей гарантируют при выполнении параллельной программы производительность в заданных пределах или возможность использования всех исправных вычислителей.

# Свойства ВС

- *Самоконтроль и самодиагностика (Self-testing and Self-diagnostics)*

Заключение об исправности или неисправности отдельных вычислителей системы принимается коллективно всеми вычислителями на основе сопоставления их индивидуальных заключений об исправности соседних с ними вычислителей.

- *Технико-экономическая эффективность (Technical-economical Efficiency)*

# Литература

Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем. Учебное пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005; 2-е издание, 2008.

Хорошевский В.Г. Инженерные анализ функционирования вычислительных машин и систем. – М.: “Радио и связь”, 1987.